【研究・技術ノート】

日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究

森田匡俊*・鈴木克哉**・奥貫圭一***

An Empirical Study of the Ratio of the Road Distance to the Straight Line Distance in Major Cities in Japan

Masatoshi MORITA*, Katsuya SUZUKI**, Kei-ichi OKUNUKI***

Abstract: Using the empirical road network data and regression analysis, we investigated the ratio of the road distance to the straight line distance in major cities in Japan. The ratios are relatively different by cities. Therefore, in order to replace the road distance by the straight line distance, we do not use the known ratio that is revealed in different city without careful consideration. If we replace the road distance by the straight line distance, we have to consider the road network of the target city. In addition, we found that the cities which have small ratio of the road distance to the straight line distance generally tend to have high coefficient of determination. In other hands, the cities that have high ratio of the road distance to the straight line distance generally tend to have small coefficient of determination. Therefore, when we replace the road distance by the straight line distance in the cities which have small ratio of the road distance to the straight line distance, there is a certain degree of reliability.

Keywords: 直線距離 (straight line distance), 道路距離 (road distance), 道直比 (ratio of the road distance to the straight line distance), 回帰分析 (regression analysis), 国内主要都市 (major cities in Japan)

1. はじめに

本研究では、2地点間を結ぶ直線距離と道路距離（最短経路の長さ）との関係が都市によってどのように異なるのか、国内道路網のGISデータを使って実証的に調べる。道路距離が、直線距離や放射・環状距離、直交距離に対してどのような値を示すのかは、主として都市計画の分野で考えられてきた（腰塚・小林, 1983；栗田, 2000；栗田, 2001；松島・栗田, 2003）。計画を考える際、2地点間の道路距離を地図上でいちいち測ってはいは手間がかかるので、より計測の簡単な直線距離などで代用できれば有効である。とりわけ、もっとも計測の簡単な直線距離による道路距離の代用が望ましい。そこで既存研究の多くは、直線距離に対する道路距離の比（以下、道直比と呼ぶ）に着目してきた。しかし、道直比はいつ

も同じ値をとるとは限らない。2地点をどう与えるかによって道直比が異なる値をとる。さらに、その道直比の値の分布は与えられた道路網によって異なる。そこで本研究では、人口が20万人以上の国内主要都市を対象に、そのそれぞれについて道直比の値がどのような分布を示すのかを調べる。

実際の道路網を対象に両距離の関係を明らかにした先駆的研究に腰塚・小林（1983）がある。腰塚・小林（1983）によれば、都市内（東京23区）での道直比は約1.3、都市間（茨城県）では約1.21となることが分かっており、長らく道路距離を直線距離で代用する際の目安となってきた。しかし、腰塚・小林（1983）が取り上げたのは、2地域の道路網のみであり、2地域以外の道路網においても同様の道直比となるのかは明らかでない。例えば、西沢（1987）は

* 正会員 愛知工業大学地域防災研究センター（Aichi Institute of Technology）
〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247 E-mail: morita_masatoshi@aitech.ac.jp

** 非会員 横須賀市立山崎小学校（Yokosuka City Yamazaki Elementary School）

*** 正会員 名古屋大学大学院環境学研究科（Nagoya University）

中国地方、四国地方、九州地方を対象とし、各地方の中心地間の道直比を求め、地形の影響などにより地方ごとに道直比が異なることを明らかにしている。このように、対象とする地域によって道直比のばらつき方は異なる。

実際の道路網を対象とした研究の他に、両距離の関係について仮想的な道路網を想定して理論的に明らかにした研究が蓄積されている。例えば栗田(2001)は、仮想の円盤都市において格子型道路網と放射・環状型道路網を想定し、道直比がどのようになるのか理論的に分析している。しかし、理論的分析は、ネットワークを与えないと議論できず、格子型、放射環状型の典型的ネットワークに限定される。実際の道路網は、格子型や放射・環状型といった典型的な道路網でないことが多く、実際の道路網を想定して理論的に分析することは難しい。

そこで本研究では人口が20万人以上の日本の主要都市すべてを対象に、道直比について調べ、地域によって異なる道直比のばらつきについて考察を行なう。対象となる主要都市は、全国に112都市(2006年10月時点)あり、これらの行政区域の道路網を対象として道直比を考えていく(表1)。なお、人口が他の都市と比べて突出して多い東京23区は除いた。

2. 分析の概要

2. 1. 利用データ、利用ソフトウェア

道路網データとして『ナビゲーション道路地図(2007年版)』を用いる。このデータには、国土地理院発行1/25000地形図に記載されている幅員3.0m以上の道路が含まれている。また、都市市街地においては上記の道路に加え、国土地理院発行1/10000地形図および都市計画図に記載されている幅員3.0m以上の道路が含まれている。なお、このデータは2006年10月時点の道路網を基に作られている。したがって本研究で使用するデータはすべて2006年当時のものになっている。

全国112都市の行政区域データは、国土数値情報の行政区域の面データを用いる。また、道直比を計測する地点を設定するために総務省統計局による地域メッシュ統計の基準地域メッシュ(1kmメッシュ)

データを用いる。

以上のデータによる地点間の道路距離および直線距離の計測には、ArcGIS 10とネットワーク空間分析ソフトウェアSANET(奥貫ほか2006)、フリーのGISソフトウェアのQuantum GISを用いる。また、道直比を求めるための統計的分析にはRを用いる。

2. 2. 道路網データ

対象都市内における2地点間の道路距離の計測に際して、最短経路に対象都市外の道路が含まれる場合もある。このことを考慮するため、対象都市の行政区域を十分に覆う範囲の道路網リンクのデータを抽出する。抽出した道路網リンクから、連結していない部分ネットワーク(例えば、道路で繋がれていない島嶼部や飛び地)を、SANETによって探し、それを削除する。こうして得られた連結する一つの道路網データを分析に用いる。

また本研究では、都市内の2地点間の道路距離に着目するため、主として都市間での移動時に利用される高速道路のリンクは、道路網データから除いて道路距離の計測を行う。

2. 2. 地点間の組み合わせ設定方法

直線距離と道路距離の関係を明らかにしようとするとき、距離の計測を行うために起終点(2地点間の組み合わせ)を設定する必要がある。この起終点の設定には複数の方法がある。西沢(1987)では、道路網の役割が都市相互間の連結網形成にあるとして、地方生活圏の二次生活圏の中心地を起終点としている。田中ほか(2007)では、起終点について3つのモデルを設定して分析を行っている。モデル1は対象道路網のすべての交差点、モデル2は対象地域の道路に沿って等間隔に挿入した点、モデル3は対象地域に重ねた正方形メッシュの中心点を最寄りのリンク上に挿入した点である。結果、モデル間の道直比に差異が生じることが明らかになっている。

これらの研究では、それぞれの目的によって起終点が設定されているものの、いずれの設定方法にも短所がある。田中ほか(2007)のモデル3以外の起終点設定方法は、道路網全体において起終点の密度

にばらつきが出るため、起終点密度の高い都市部における比較的短距離の地点間の組み合わせに道直比が大きく影響を受けることになる。一方で田中ほか(2007)のモデル3では、メッシュ内に道路網が存在しない場合もそのメッシュの中心点が起終点として用いられてしまう。

本研究では田中ほか(2007)のモデル3を参考に、その課題を踏まえて、道路網と重なるメッシュの中心点を起終点として設定する。これによって起終点の分布密度が道路分布の疎密による影響を受けず、どの道路網もほぼ同じ密度の起終点によって評価することができる。さらに道路網と重ならないメッシュ中心点を省くことで、道路網の存在しない部分の影響を道直比の算出から除くことにする。具体的には、まず対象都市の道路網と1kmメッシュとを重ね合わせ、道路網と重なるメッシュの重心点を抽出する。このままでは道路網と少しでも重なるメッシュの重心点も含まれてしまうため、全ての重心点に対象都市の行政区域内に収まるとは限らない。そこで、対象都市の行政区域内に含まれる重心点のみを更に抽出し、これらを対象都市の道路網における起終点とする。

2. 3. 距離比による両距離の関係の把握方法

起終点について、全ての2地点間の組み合わせの直線距離と道路距離の距離行列を求める。なお、道路距離の算出に際して利用するSANETでは、道路網上に位置しない点を最も近い道路上に移動して計算を行なう。

距離行列を算出した後は、被説明変数を道路距離、説明変数を直線距離とする切片0の直線回帰分析をRによって行なう。回帰分析の結果から得られる回帰係数を道直比として解釈する。すなわち、道直比が1に近づくほどその道路距離は直線的な移動ができることを意味する。決定係数は、1に近づくほどほとんどの2地点間の組み合わせが同様の道直比を示すことを意味し、逆に決定係数が小さければ2地点間の組み合わせにおける道直比のばらつきが大きいことになる。

3. 全国112都市における道直比と決定係数

図1および表1に112都市の道直比と決定係数を示す。まず道直比について着目してみると、112都市の平均値(平均道直比と呼ぶ)は1.3035であり、道直比が最も小さいのは一宮市(1.1260)の道路網である。ほぼすべての都市が1.5未満であり、1.5以上となるのは静岡市(1.9235)、沼津市(1.8024)など10都市のみであることがわかる。その他、道直比の小さい都市の多くが東京、大阪、名古屋の大都市周辺に位置している一方、道直比の大きい都市はそれ以外の地方に位置していることが多いことがわかる。

次に、決定係数に着目してみる。112都市の平均値(平均決定係数と呼ぶ)は0.9777であり、決定係数が最も大きいのは、川口市と名古屋市(0.9980)、最も小さいのは八尾市(0.8937)である。道直比に比べると都市間での差異は小さく、八尾市以外はすべて0.9以上である。

最後に、道直比と決定係数との相関関係に着目してみる。図1より、道直比が大きい都市ほど決定係数が小さくなり、道直比が小さい都市ほど決定係数が高くなるという負の相関関係であることがわかる。もう少し詳しく見ると、道直比が大きい都市間での決定係数の差異が大きいことが分かる。例えば、道直比が平均道直比未満の都市は63都市ある。それらのうち、60都市の決定係数が平均決定係数以上であり、例外は八王子市(0.9593)、仙台市(0.9710)、

図1 112都市の道直比と決定係数

表1 対象とする112都市と回帰分析結果

ID	都道府県	市	係数	決定係数	ID	都道府県	市	係数	決定係数
1	北海道	札幌市	1.4052	0.9474	57	静岡	静岡市	1.9235	0.9086
2	北海道	函館市	1.5421	0.9527	58	静岡	浜松市	1.4731	0.9562
3	北海道	旭川市	1.2326	0.9905	59	静岡	沼津市	1.8024	0.9588
4	青森	青森市	1.3831	0.9625	60	静岡	富士市	1.3113	0.9487
5	青森	八戸市	1.2998	0.9858	61	愛知	名古屋市	1.1397	0.9980
6	岩手	盛岡市	1.6212	0.9421	62	愛知	豊橋市	1.1915	0.9896
7	宮城	仙台市	1.2882	0.9710	63	愛知	岡崎市	1.4274	0.9678
8	秋田	秋田市	1.3493	0.9717	64	愛知	一宮市	1.1260	0.9974
9	山形	山形市	1.3313	0.9634	65	愛知	春日井市	1.1454	0.9945
10	福島	福島市	1.4151	0.9585	66	愛知	豊田市	1.3742	0.9815
11	福島	郡山市	1.2777	0.9858	67	三重	津市	1.3533	0.9838
12	福島	いわき市	1.4887	0.9713	68	三重	四日市市	1.2034	0.9934
13	茨城	水戸市	1.1742	0.9949	69	滋賀	大津市	1.2846	0.9818
14	茨城	日立市	1.4636	0.9357	70	京都	京都市	1.4792	0.9588
15	栃木	宇都宮市	1.1666	0.9940	71	大阪	大阪市	1.1750	0.9875
16	群馬	前橋市	1.2160	0.9895	72	大阪	堺市	1.1623	0.9947
17	群馬	高崎市	1.1666	0.9933	73	大阪	岸和田市	1.3113	0.9802
18	群馬	伊勢崎市	1.1514	0.9967	74	大阪	豊中市	1.1720	0.9953
19	群馬	太田市	1.1786	0.9956	75	大阪	吹田市	1.2077	0.9917
20	埼玉	さいたま市	1.1656	0.9977	76	大阪	高槻市	1.4021	0.9619
21	埼玉	川越市	1.1653	0.9960	77	大阪	枚方市	1.2350	0.9809
22	埼玉	川口市	1.1412	0.9980	78	大阪	茨木市	1.3301	0.9713
23	埼玉	所沢市	1.1625	0.9923	79	大阪	八尾市	1.3365	0.8937
24	埼玉	春日部市	1.1734	0.9966	80	大阪	寝屋川市	1.1970	0.9951
25	埼玉	上尾市	1.2035	0.9844	81	大阪	東大阪市	1.3131	0.9218
26	埼玉	草加市	1.2033	0.9977	82	兵庫	神戸市	1.3399	0.9830
27	埼玉	越谷市	1.1541	0.9968	83	兵庫	姫路市	1.2609	0.9846
28	千葉	千葉市	1.1676	0.9946	84	兵庫	尼崎市	1.2029	0.9901
29	千葉	市川市	1.2057	0.9910	85	兵庫	明石市	1.1462	0.9933
30	千葉	船橋市	1.1871	0.9956	86	兵庫	西宮市	1.3996	0.9476
31	千葉	松戸市	1.1709	0.9967	87	兵庫	加古川市	1.2209	0.9913
32	千葉	柏市	1.1737	0.9966	88	兵庫	宝塚市	1.5018	0.9457
33	千葉	市原市	1.2538	0.9919	89	奈良	奈良市	1.3727	0.9830
34	東京	八王子市	1.3010	0.9593	90	和歌山	和歌山市	1.2554	0.9878
35	東京	府中市	1.1716	0.9963	91	鳥取	鳥取市	1.5016	0.9303
36	東京	調布市	1.1782	0.9977	92	岡山	岡山市	1.2897	0.9874
37	東京	町田市	1.1339	0.9950	93	岡山	倉敷市	1.2882	0.9856
38	神奈川	横浜市	1.1786	0.9969	94	広島	広島市	1.4668	0.9733
39	神奈川	川崎市	1.1569	0.9916	95	広島	呉市	1.6727	0.9618
40	神奈川	横須賀市	1.3843	0.9763	96	広島	福山市	1.3093	0.9839
41	神奈川	平塚市	1.1807	0.9957	97	山口	下関市	1.2951	0.9856
42	神奈川	藤沢市	1.1637	0.9977	98	徳島	徳島市	1.3831	0.9575
43	神奈川	茅ヶ崎市	1.2422	0.9912	99	香川	高松市	1.3178	0.9851
44	神奈川	相模原市	1.2422	0.9912	100	愛媛	松山市	1.3941	0.9644
45	神奈川	厚木市	1.2536	0.9798	101	高知	高知市	1.6066	0.9424
46	神奈川	大和市	1.1294	0.9967	102	福岡	北九州市	1.3341	0.9727
47	新潟	新潟市	1.1800	0.9966	103	福岡	福岡市	1.3329	0.9424
48	新潟	長岡市	1.2857	0.9870	104	福岡	久留米市	1.1798	0.9861
49	新潟	上越市	1.3987	0.9746	105	佐賀	佐賀市	1.3833	0.9784
50	富山	富山市	1.4465	0.9399	106	長崎	長崎市	1.4705	0.9833
51	石川	金沢市	1.3508	0.9680	107	長崎	佐世保市	1.5155	0.9727
52	福井	福井市	1.3511	0.9760	108	熊本	熊本市	1.2884	0.9739
53	山梨	甲府市	1.5381	0.9575	109	大分	大分市	1.3220	0.9800
54	長野	長野市	1.4725	0.9658	110	宮崎	宮崎市	1.3038	0.9689
55	長野	松本市	1.4232	0.9672	111	鹿児島	鹿児島市	1.2687	0.9851
56	岐阜	岐阜市	1.2215	0.9883	112	沖縄	那覇市	1.2272	0.9913

* p<0.0001

熊本市 (0.9739) の3都市のみである。一方で、道直比が平均道直比以上の49都市の決定係数は、最小が八尾市の0.8937, 最大が高松市の0.9851と都市間での差異が大きい。

次章では、道直比や決定係数、両値の関係について特徴的な都市を取り上げ、なぜそのような結果になったのか、都市の行政区域の形状や、行政区域内での道路網密度 (単位面積当たりの道路網の長さ) を基に検討する。

4. 考察

まず、道直比について特徴的な都市に着目してみる。道直比の最も大きい静岡市と2番目に大きい沼津市の行政区域形状および道路網と起終点を図2に、1kmメッシュごとの道路網密度を図3に示した。静岡市をみると、北部は東西方向の道路網が少なく、北部の起終点間における道路距離が直線距離に比べ

て長くなるため、結果として道直比が大きくなったと考えられる。沼津市をみると、行政区域の形状が湾に沿ってくびれているため、直線距離では、くびれた形状の影響が反映されない一方、道路距離では迂回が必要のため影響が大きくなり、結果として道直比が大きくなると考えられる。また、図3より両都市とも道路網密度が行政区域内で大きく異なっていることがわかる。

道直比の最も小さい一宮市 (図4、5) についてみる。行政区域の形状をみると、一宮市は比較的整った矩形であり、かつ行政区域の全域で道路網密度が高い。以上のことから、迂回が必要となるような起終点間の組み合わせが少なくなり、道直比が小さくなると考えられる。

次に、決定係数について特徴的な都市に着目してみる。決定係数の大きい都市の事例として一宮市 (図4、5) をみると、行政区域全域で密に道路網が張り

図2 静岡市と沼津市の行政区域形状および道路網と起終点

図4 一宮市の行政区域形状および道路網と起終点

図3 静岡市と沼津市の道路網密度

図5 一宮市の道路網密度

図6 八尾市と東大阪市の行政区域形状および道路網と起終点

図8 長崎市の行政区域形状および道路網と起終点

図7 八尾市と東大阪市の道路網密度

図9 長崎市の道路網密度

巡らされており、道路網密度の行政区域内での差異が小さい。その一方、決定係数が最も小さい八尾市と3番目に小さい東大阪市を見てみると(図6, 7)、両市とも市西部から中央部にかけては道路網密度が高いのに対して、市東部の道路網密度は低くなっており、行政区域内での道路網密度に差異が大きいことがわかる。東部の起終点間とその他区域の起終点間とで道直比の差異が大きくなり、決定係数が小さくなると考えられる。決定係数が2番目に小さい静岡市(図2, 3)も同様に、南部と北部とで道路網密度の差異が大きい。

最後に道直比と決定係数の両値を見たときに特徴的な都市についてみる。道直比と決定係数には負の相関関係が顕著であり、全般的な傾向として、道直比が約1.3未満であれば、決定係数が0.98以上と考えてよいことがわかる。一方、道直比が1.3以上である場合には、決定係数の大きい都市と小さい

都市とがある。例えば、長崎市(図8, 9)は道直比が1.4705と比較的大きく、かつ決定係数も0.9833と比較的大きい。道直比が比較的小さく、かつ決定係数も小さい都市の事例として、東大阪市と八尾市(図6, 7)が挙げられる。

5. おわりに

本研究では、道直比が都市によってどのように異なるのか、全国の主要112都市を対象に、実際の道路網データを用いて実証的に調べた。

結果、主要112都市の道直比の平均は1.3035となり、腰塚・小林(1983)による2地域の結果とほぼ同じ値となった。しかし、個々にみると、最小が一宮市の1.1260, 最大が静岡市の1.9235となっており、都市によって道直比がかなり異なることが分かった。このことから、道路距離を直線距離によって代用するためには、異なる地域で明らかになっている

既知の道直比を安易に用いてはならず、対象地域の道路網についてあらかじめ検討を行なっておく必要があるといえる。その他、道直比が1.3未満であれば、決定係数が大きくなり、直線距離の代用として道路距離を用いても、ある程度の信頼性があることがわかった。しかし、道直比が1.3より大きい場合は、都市によって決定係数の差異が大きいため、直線距離の代用として道路距離を用いることには注意が必要である。とりわけ、道路網密度が行政区域内で大きく異なる都市では、道直比の大小に関わらず、決定係数が大きくなるため、直線距離の代用として道路距離を用いることは難しいといえる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、池口明子先生をはじめとする横浜国立大学の方々には多大なるご協力を頂きました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。

参考文献

奥貫圭一・塩出志乃・岡部篤行(2006) ネットワーク空間分析ソフトウェア SANET. 『GISで空間分析』(村山祐司・岡部篤行編), 古今書院, 142-182.

栗田 治(2000) 東京道路網における道路距離と理論的距離. 「2000年度日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集」, 64-65.

栗田 治(2001) 円盤都市における道路パターンの理論－直線距離, 直交距離並びに放射・環状距離の分布. 「日本都市計画学会学術研究論文集」, 36, 859-864.

腰塚武志・小林純一(1983) 道路距離と直線距離. 「日本都市計画学会学術研究発表会論文集」, 18, 43-48.

田中健一・鳥海重喜・田口 東(2007) 移動距離と移動効率の両面からみた交通網の分析. 「日本応用数理学会論文誌」, 17, 133-157.

西沢 明(1987) 直線距離と道路距離による道路網の利便性評価. 「地域学研究」, 18, 145-164.

松島裕久・栗田 治(2003) 東京道路網に関する距離モデルの実証分析. 「2003年度日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集」, 166-167.

(2013年7月19日原稿受理, 2013年12月31日採用決定, 2014年3月14日デジタルライブラリ掲載)